

## Rola użytkowania w kształtowaniu obszarów dostawy sedymentu do koryt w zlewni Sufragańca i Silnicy (Góry Świętokrzyskie)

Tadeusz Ciupa\*

Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii,  
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce

Obszary dostawy sedymentu do koryt rzecznych cechują się zmienną wydajnością uwarunkowaną m.in. dynamiką procesów hydrologicznych i geomorfologicznych (Gregory, Walling 1973, Froehlich 1982, Richards 1982, Zwoliński 1989, Biernat, Ciupa 1992). W ich obrębie funkcjonują źródła dostawy, m.in. litosferyczne, pedosferyczne i antroposferyczne (Kostrzewski i in. 1994). Tylko niewielka część stałej substancji mineralnej i organicznej, wyruszona ze stanu spoczynku, dociera do koryta rzeki i w procesie transportu fluwialnego jest wynoszona poza obręb zlewni (Starkel 1972, Froehlich 1982, Krzemień 1991, Biernat, Ciupa 1992, Krzemień, Święchowicz 1992, Maruszczak i in. 1992, Smolska 1996).

W Górach Świętokrzyskich podstawowym procesem modelującym stoki jest spłukiwanie powierzchniowe i erozja liniowa (Radłowska i in. 1974, Biernat 1985, Ciupa 1991, Józwiak 1990, Cabaj, Ciupa 2001). Materiał dostarczany jest tu do koryt rzecznych i terasy zalewowej głównie systemem dróg polnych i suchych dolin (Ciupa 1991).

Celem pracy jest analiza wpływu użytkowania zlewni na kształtowanie obszarów dostawy sedymentu do koryt w zlewni Sufragańca i Silnicy, w tym na terenach zurbanizowanych Kielc.

Na podstawie badań terenowych i analiz kartograficznych opracowano mapę zagrożenia gleb erozją wodną i zasięgu obszarów dostawy sedymentu do koryt (ryc. 1). Nawiązano do istniejących opracowań (m.in. Józefaciuk, Józefaciuk 1992, Biernat, Ciupa 1992), stosując częściową ich modyfikację uwzględniającą specyfikę obszaru zurbanizowanego. Dokonano analizy: nachylenia stoków, składu mechanicznego gleb, sposobu

użytkowania oraz kierunków orki i na tej podstawie wyróżniono 7 stopni erozji. Następnie przeprowadzono analizę możliwości dostawy sedymentu do koryt, wydzielając 4 rodzaje obszarów (ryc. 1).

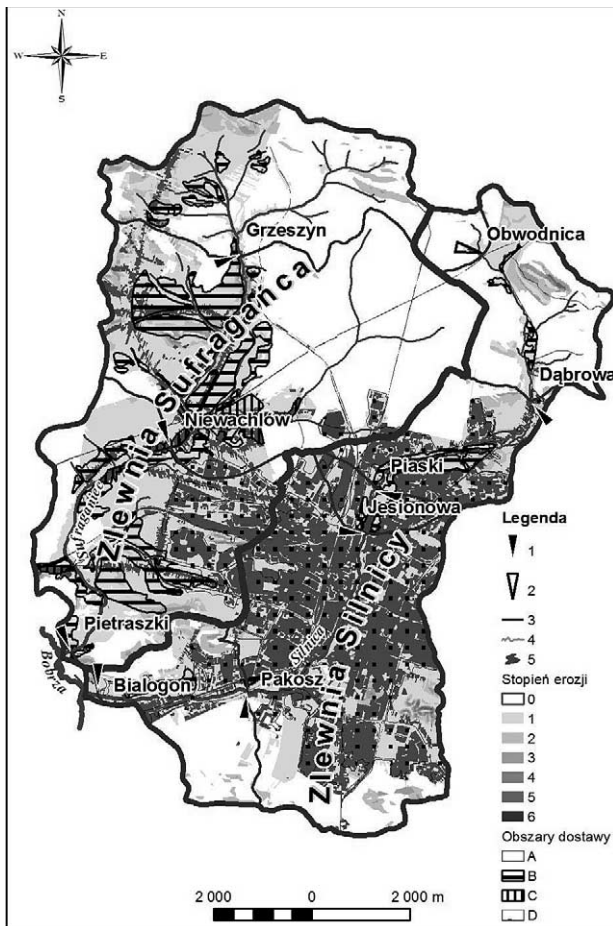
Zlewnie Silnicy i Sufragańca położone są w Górach Świętokrzyskich, a na ich terenie zlokalizowane są Kielce wraz ze strefą podmiejską. Cechują się zbliżoną powierzchnią oraz podobną budową geologiczną i rzeźbą terenu, ale innym użytkowaniem. Powierzchnia leśno-rolniczej zlewni Sufragańca wynosi 62,0 km<sup>2</sup>, a zurbanizowanej zlewni Silnicy – 49,4 km<sup>2</sup>. W górnej części zlewni Sufragańca udział lasów jest wysoki (po wodowskaz Grzeszyn – 65,5%) i zmniejsza się wraz z przyrostem powierzchni, osiągając u ujścia 46,7% (Pietraszki). Natomiast udział powierzchni uszczelnionych (drogi, utwardzone parkingi, zabudowania) zwiększa się w tym samym kierunku (odpowiednio od 1,7 do 6,7%). W górnej części zlewni Silnicy (Dąbrowa) lasy zajmują 72,9% ogólnej powierzchni. Poniżej zmniejsza się ich udział, a wzrasta powierzchnia terenów uszczelnionych. Między przekrojami Piaski i Jesionowa znajduje się zbiornik retencyjny o powierzchni 10,5 ha. Poniżej centrum Kielc, tj. po przekrój Pakosz, udział terenów uszczelnionych wynosi 30,2%, a po Białogon – 27,6% (tab. 1).

W zlewni Sufragańca i Silnicy wraz z przyrostem powierzchni zlewni zmniejsza się udział powierzchni, na których erozja praktycznie nie występuje. W tej pierwszej od 62,3% (Grzeszyn) do 47,0% (Pietraszki), a w drugiej od 73,2% (Dąbrowa) do 29,3% (Pakosz). W tym samym kierunku wzrastał udział powierzchni z erozją słabą i umiarkowaną (zlewnia

\* e-mail: tciupa@pu.kielce.pl

Sufragańca: 34,0–40,1%; zlewnia Silnicy: 22,5–29,9%) oraz terenów z erozją o zróżnicowanym natężeniu w obrębie obszarów uszczelnionych (odpowiednio: 2,2–11,7% i 2,1–40,8%) (ryc. 1, tab. 1). Zróżnicowanie to wynika, szczególnie na terenach zurbanizowanych, z występowania obok siebie obszarów o skrajnej podatności na procesy erozyjne i splukiwanie powierzchniowe. Przykładem są tu drogi i towarzyszące im pobocza.

W obu zlewniach wraz z przyrostem powierzchni zmniejsza się udział obszarów, gdzie materiał jest przemieszczany w obrębie stoków i dostarczany do suchych dolin. Udział ten w zlewni Sufragańca kształtuje się od 95,8 do 79,2%, a w zlewni Silnicy: 97,7–51,4% (do przekroju Pakosz) i 56,4% (Białogon). W zlewni Sufragańca obszary bezpośredniej dostawy sedymentu do koryta osiągają po przekroju ujściowy 1,5% powierzchni, a w zurbanizowanej zlewni Silnicy tylko 0,2%. W tej pierwszej zlewni ob-



**Ryc. 1.** Mapa stopnia zagrożenia gleb erozją wodną i obszarów dostawy sedymentu do koryt w zlewni Silnicy i Sufragańca

1. wodowszaki, 2. wodowszaki okresowy, 3. działki wodne, 4. cieciki, 5. zbiorniki wodne. Stopień erozji: 0 – praktycznie nie występuje, 1 – słaby, 2 – umiarkowany, 3 – średni, 4 – silny, 5 – bardzo silny, 6 – zróżnicowane natężenie na terenach zurbanizowanych i uszczelnionych. Obszary dostawy sedymentu: A – przemieszczanie w obrębie stoków i dostawa do suchych dolin, B – na terasę zalewową, C – bezpośrednio do koryta, D – bezpośrednio do koryta poprzez system drenażu antropogenicznego

szary dostawy sedymentu na terasę zalewową położone są w sposób nieciągły wzdłuż doliny cieku głównego i niektórych dopływów, zajmując od 4,2 do 12,4%, a w drugiej: 6,2–2,5%. Taki przestrzenny układ analizowanych obszarów warunkuje etapowość w dostawie materiału do koryta rzeki. Materiał akumulowany w obrębie terasy zalewowej może być włączony do transportu rzeczno pod czas katastrofalnych wezbrań (Biernat, Ciupa 1991). W obu zlewniach wraz z ich biegiem wzrasta udział obszarów bezpośredniej dostawy do koryt poprzez system dróg i kanalizacji deszczowej. W zlewni Sufragańca zmienia się on w zakresie od 0,0 do 6,9%, a w zlewni Silnicy od 0,1% (Dąbrowa) do 45,9% (Pakosz) i 40,9% (Białogon). W centralnej części miasta udział ten osiągnął 64,9%. Ten skokowy wzrost wystąpił na obszarze zurbanizowanym. W obrębie terenów uszczelnionych, na odsłoniętych i mało szorstkich powierzchniach, gromadzą się w okresach bezdeszczowych znaczne ilości luźnego sedymentu. Materiał ten jest tu splukiwany i systemem liniowego drenażu szybko dostarczany do koryta rzeki. Na obszarach zurbanizowanych transportowany w korycie sedyment pochodzi głównie z dróg, poboczy i chodników. Duży udział mają tu też zanieczyszczenia komunikacyjne i atmosferyczne.

W warunkach naturalnych lub zbliżonych do takich obszary dostawy obejmują wąską strefę wzdłuż koryta cieku głównego i dopływów, sięgając do kilku procent całkowitej powierzchni (Walling, Webb 1981). W rolniczych zlewniach Gór Świętokrzyskich obszary te zajmują od 10 do 30% powierzchni zlewni (Biernat 1985). Tymczasem w zurbanizowanej zlewni Silnicy w wielu miejscach dochodzą one do wododziałów, a lokalnie systemem drenażu podziemnego mogą je nawet przekraczać. Przy przejściu ze zlewni leśno-rolniczych do zurbanizowanych następuje skokowy przyrost obszarów dostawy sedymentu do koryt poprzez gęsty i różnorodny system drenażu. Znajduje to swoje wyraźne odzwierciedlenie w transporcie zawiesiny (Ciupa 2005).

Badania w innych zlewniach wykazały, że powierzchnie te ulegają pewnym zmianom sezonowym wynikającym z różnych warunków pogodowych, podczas których mogą być formowane wezbrania o różnej genezie (por. Collins 1981, Biernat, Ciupa 1992). Natomiast w zlewniach zurbanizowanych obszary te również zmieniają swoją powierzchnię w czasie i w przestrzeni, ale zmiany te nie są tak duże. Tutaj w zasadzie powierzchnie uszczelnione nie zmieniają się w ciągu roku, a system drenażu miejskiego reaguje już wyraźnie na opady o sumie 1,3 mm. W warunkach miejskich przyspieszona dostawa sedymentu do koryt, poprzez gęstą sieć dróg i kanałów deszczowych, jest efektywna. W zlewniach mało przekształconych w sezonie zimowym obszary dostawy ulegają zmniejszeniu, a procesy dostawy materiału do koryt rzecznych są ograniczone. Wówczas na obszarach zurba-

**Tabela 1.** Powierzchnia, użytkowanie, stopień zagrożenia gleb erozją wodną i obszary dostawy sedymentu do koryt rzecznych w zlewni Sufragańca i Silnicy

Cecha	Zlewnia Sufragańca				Zlewnia Silnicy			
	Grzeszyn	Niewachłów	Pietraszki	Dąbrowa	Piaski	Jesionowa	Pakosz	Białogon
powierzchnia ogółem (km <sup>2</sup> )	13,61	42,25	62,01	9,230	15,49	17,88	42,62	49,38
użytkowanie (%)								
las	65,5	59,0	46,7	72,9	51,2	44,9	29,6	32,7
łąki i pastwiska	11,7	9,7	14,7	12,9	15,0	15,3	16,3	17,0
pola	17,0	23,1	25,7	3,6	9,9	9,1	4,3	4,1
tereny zielone	4,1	4,2	5,5	3,2	9,5	11,1	18,2	17,4
tereny uszczelnione	1,7	3,4	6,7	4,6	12,7	17,4	30,2	27,6
inne	0,0	0,6	0,7	2,8	1,7	2,2	1,6	1,2
stopień zagrożenia gleb erozją wodną (%)								
0	62,3	57,6	46,5	73,2	53,2	48,1	28,9	31,9
1 i 2	34,0	33,0	40,1	22,5	28,5	29,1	29,1	29,9
3	1,3	1,3	1,3	1,8	1,3	1,1	1,0	1,1
4 i 5	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
6	2,2	7,7	11,7	2,1	16,7	21,5	40,8	36,9
obszary dostawy sedymentu (%)								
A	95,8	85,5	79,2	97,7	78,4	72,8	51,4	56,4
B	4,2	10,9	12,4	6,2	5,3	5,6	2,5	2,6
C	0,0	1,3	1,5	0,0	0,0	0,4	0,2	0,2
D	0,0	2,3	6,9	0,1	16,3	21,2	45,9	40,8

Objaśnienia: stopień zagrożenia erozją wodną: 0 – praktycznie nie występuje, 1 i 2 – słaby i umiarkowany, 3 – średni, 4 i 5 – silny i bardzo silny, 6 – zróżnicowany na terenach zurbanizowanych i uszczelnionych. Obszary dostawy sedymentu: jak na ryc. 1  
Źródło: opracowanie własne.

nizowanych drogi utwardzone stają się bardzo wydajnym źródłem dostawy materiału do transportu fluwialnego z uwagi na działania zmierzające do ich przejeźności. Okres ten jest decydujący w kształtowaniu reżimu dostawy i transportu fluwialnego w cyklu rocznym. Jest to cecha obszarów miejskich (Ciupa 2005). Potwierdza to wyniki wcześniejszych badań wskazujących na dużą wydajność procesów dostawy sedymentu do koryt na obszarach zurbanizowanych (Walling 1974, Nelson, Booth 2002).

Reasumując, należy stwierdzić w zlewni leśno-rolniczej Sufragańca i zurbanizowanej Silnicy widoczny jest wyraźny wpływ użytkowania na przestrzenne zróżnicowanie stopnia erozji wodnej i kształtowanie obszarów dostawy sedymentu do koryt. W obu zlewniach wraz z przyrostem powierzchni wzrasta udział terenów z erozją słabą i umiarkowaną (odpowiednio: 34,0–40,1% i 22,5–29,9%) oraz terenów z erozją o zróżnicowanym natężeniu, szczególnie w obrębie obszarów zurbanizowanych (odpowiednio: 2,2–11,7% i 2,1–40,8%). W zlewni Sufragańca obszary bezpośredniej dostawy sedymentu do koryta osiągają po

przekrój ujściowy 1,5% powierzchni, a w zurbanizowanej zlewni Silnicy tylko 0,2%. Podobny układ przestrzenny wykazują obszary dostawy sedymentu na terasę zalewową, które w sposób nieciągły położone są wzdłuż doliny cieku głównego i niektórych dopływów, zajmując w zlewni Sufragańca od 4,2 do 12,4%, a w zlewni Silnicy od 6,2 do 2,5%. W obu zlewniach, wraz z ich biegiem, wzrasta udział obszarów bezpośredniej dostawy do koryt, poprzez system dróg i kanalizacji deszczowej. W zlewni Sufragańca zmienia się on w zakresie od 0,0 do 6,9%, a w zlewni Silnicy od 0,1% do 45,9% (Pakosz) i 40,9% (Białogon). W warunkach miejskich przyspieszona dostawa sedymentu do koryt, poprzez gęstą sieć dróg i kanałów burzowych, jest najbardziej efektywna w sezonie zimowym. Wówczas na drogach, dla zapewnienia ich przejeźności, stosuje się sól i piasek.

## Literatura

- Biernat T. 1985. Areas supplying weathered material and the mechanism of transportation of the suspended material in the Łososina catchment area (Holy Cross Mountain, central Poland). *Quaest. Geogr., Spec. Issue*, 1: 61–73.
- Biernat T., Ciupa T. 1992. Denudacja mechaniczna i chemiczna w zlewniach wyżynnych środkowej Polski. [W:] A. Kotarba (red.), *System denudacyjny Polski (Denudation system of Poland)*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 155: 133–148.
- Cabaj W., Ciupa T. 2001. Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania przyczyn i skutków powodzi na rolniczych terenach w Niece Nidziańskiej. [W:] K. German, J. Balon (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie*. *Probl. Ekol. Krajobr.*, 10: 338–343.
- Ciupa T. 1991. Współczesny transport fluwialny w zlewni Białej Nidy. Wyd. WSP, Kielce.
- Ciupa T. 2005. Wpływ użytkowania na transport zawiesiny w małych zlewniach na przykładzie Silnicy i Sufragańca (Kielce). [W:] A. Kotarba, K. Krzemień, J. Świąchowicz (red.), *Współczesna ewolucja rzeźby Polski. VII Zjazd Geomorfologów Polskich*, Kraków, 19–22 września 2005. Wyd. IGiPZ UJ, Kraków, s. 77–84.
- Collins M.B. 1981. Sediment yield studies of headwater catchments in Sussex, S.E. England. *Earth Surf. Proc. Landf.*, 6: 517–539.
- Froehlich W. 1982. Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin w górskiej zlewni fliszowej. *Prace Geogr. IGiPZ PAN*, 143: 1–144.
- Gregory K.J., Walling D.E. 1973. *Drainage Basin: Form and Processes*. Edward Arnold, London.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C. 1992. Struktura zagrożenia erozją wodną fizjograficznych krain Polski. *Pam. Puław.*, 101, Supl.: 23–49.
- Jóźwiak M. 1990. Rozpoznanie erozji wodnej gleb jako podstawa melioracji przeciwoerozyjnych w regionie Gór Świętokrzyskich. *Zesz. Nauk. AR*, 238, 25: 269–279.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z. 1994. Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. SGP, Poznań.
- Krzemień K. 1991. Dynamika wysokogórskiego systemu fluwialnego na przykładzie Tatr Zachodnich. *Wyd. UJ Rozpr. Habil.*, 215: 1–160.
- Krzemień K., Świąchowicz J. 1992. Zróżnicowanie i zmienność koncentracji zawiesiny w zlewni Starej Rzeki. *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, 88: 71–86.
- Maruszczak H., Rodzik J., Świeca A. 1992. Denudacja mechaniczna i chemiczna we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. *Prace Geogr. IGiPZ*, 155: 105–131.
- Nelson E.J., Booth D.B. 2002. Sediment sources in an urbanizing, mixed land-use watershed. *Journal of Hydrology*, 264: 51–68.
- Radłowska C., Mycielska-Dowgiałło E., Bogacki M. 1974. Współczesna morfogeneza w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich. *PZZG PAN, Kom. Zagosp. Ziem Górskich*, 13: 47–71.
- Richards K.S. 1982. *Rivers: form and process in alluvial channels*. Methuen, London.
- Smolska E. 1996. Funkcjonowanie systemu korytowego w obszarze młodoglacjalnym na przykładzie górnej Szeszupy (Pojezierze Suwalskie). *Wyd. Geogr. i Stud. Reg. UW*, Warszawa.
- Starkel L. 1972. Observations on the morphological role of heavy rainfall in the Flysch Carpathians in July 1970. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcanica*, 6: 191–194.
- Walling D.E. 1974. Suspended sediment and solute yields from a small catchment prior to urbanization. *Inst. of British Geogr. Spec. Publ.*, 6: 169–192.
- Walling D.E., Webb B.W. 1981. The reliability of suspended sediment load data. *IAHS AISH Publ.*, 133.
- Zwoliński Z. 1989. Geomorficzne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzecznego. *Dokum. Geogr. IGiPZ PAN*, 3–4: 1–144.